



Strefowość ekshalacji radonowych w rejonie Nałęczowa

Lucjan Gazda^{}, Bernard Polednik^{*}, Marzenna Dudzińska^{*},
Krzysztof Kozak^{**}, Jadwiga Mazur^{**}*
^{}Politechnika Lubelska*
*^{**}Instytut Fizyki Jądrowej PAN, Kraków*

1. Wstęp

Badania ekshalacji radonowych w Uzdrowisku Nałęczów zapoczątkowano już ponad 100 lat temu (Orgelbrand 1909) w ramach podejmowanych w tym okresie prób rozszerzenia potencjału leczniczego Uzdrowiska o modne w tym czasie kuracje „radjoczynne”. Radon (^{222}Rn) w tym okresie, za jego odkrywcą, którym był Friedrich Ernst Dorn w 1900 roku, określane był pojęciem emanacji. Przeprowadzone wówczas badania wód w Nałęczowie przy użyciu fontaktoskopu wykazały aktywność (oryginalnie czynność) na poziomie 0,6 jednostek Mache’a (Orgelbrand 1909). Badania wykonano dla wody źródła żelazistego (ujęcie Celińskiego), wody zwykłej (ujęcie Miłość) oraz dla borowin pozytywnych w dolinie rzeki Bystra. Uzyskane wyniki pozwoliły opracować procedury balneologiczne dla Uzdrowiska Nałęczów. Kuracji radonowych nigdy jednak tu nie podjęto i praktycznie do 2009 roku nie przeprowadzano w Nałęczowie i okolicach szerszych badań ekshalacji radonowych. To, że takich badań tu nie przeprowadzano wydaje się być uzasadnione z uwagi na wyników przesiewowych pomiarów wykonanych w okolicach Lublina, które nie wykazały znacząco wysokich ekshalacji radonowych z gruntu (Komosa 2005). Nie sprzyjały też temu bardziej ogólne badania i analizy dotyczące występowanie w strefie hipergenicznej radu (^{226}Ra), będącego naturalnym prekursorem radonu (Atlas radiologiczny Polski 2012). Przeprowadzone przez zespół autorski badania

w latach 2009-2011 wykazały występowanie anomalnie podwyższonych stężeń radonu w gruncie i środowisku wewnętrznym (Gazda i in. 2012). Wykonane badania w strefie ujęć wody Uzdrowiska Nałęczów oraz w rejonie zabudowy mieszkaniowej w dolinie Bystrej i w obszarze rowu tektonicznego w miejscowości Kocianów pozwoliły na wstępne opracowanie uwarunkowań geologicznych (petrograficznych, tektonicznych i hydrogeologicznych) stwierdzonej strefowości anomalnych stężeń radonu w Nałęczowie i w jego najbliższej okolicy.

2. Metodyka badań

Pomiary stężenia radonu w powietrzu wykonano metodą pasywną za pomocą dozymetrów śladowych CR-39 w okresie jesieni i zimy 2009/2010 roku. Pomiary stężenia radonu metodą aktywną wykonano za pomocą miernika Alpha GUARD PQ 2000 PRO (Laboratorium Ekspertyz Radiometrycznych Instytutu Fizyki Jądrowej PAN w Krakowie) w listopadzie 2011 roku. Badania radonowe przeprowadzono powyżej poziomu wód podziemnych na głębokościach od 1 m do 5 m poniżej poziomu terenu (piwnice, studnie, podziemne wyrobiska górnicze).

W Uzdrowisku Nałęczów detektory umieszczono powyżej poziomu wodonośnego, w rurach osłonowych ujęcia Celińskiego (A) i ujęcia Barbara (B) (lecnicza woda żelazista) oraz ujęcia Miłość (C) (woda pitna, wodorowęglanowa). Dodatkowo oznaczono zawartość radonu w wodzie na wypływie z ujęcia Miłość.

Dolinę Bystrej opomiarowano w strefie przykrawędziowej, na południe od uzdrowiska do ujęcia rzeki Czerki, w rejonie miejscowości Gaj Nowy, gm. Wojciechów. Dozymetry umieszczono w komorze wyrobiska skał paleogenu (Gazda i Gazda 2005), w piwnicach domów mieszkalnych oraz w studniach powyżej poziomu wodonośnego. Dodatkowo w dwóch lokalizacjach wykonano pomiary stężenia radonu w powietrzu glebowym oraz pomiary zawartości radonu w wodzie.

Trzeci poligon pomiarowy założono w miejscowości Kocianów, gm. Poniatowa, w strefie odpreparowanego przez kopalnię piasku rowu tektonicznego utworzonego w skałach paleogenu (Gazda i Szydeł 2002, Harasimiuk i in. 2007). Detektory umieszczono w piwnicach obiektów gospodarskich zlokalizowanych w osi rowu tektonicznego wypełnionego 30 metrową warstwą piasków, a także na skrzydle zawieszonym o płytko występujących skałach paleogenu.

3. Wyniki badań i dyskusja

W Uzdrowisku Nałęczów wykorzystywane są lecznicze wody żelaziste ujmowane w samowypływie (ujęcie Żelaziste-Celińskiego) i w odwiercie (ujęcie Barbara). Wykorzystywane są także zwykłe bezżelaziste wody o podwyższonej mineralizacji ujmowane na samowypływie w ujęciu Miłość (Dybkowski i Zawisłak 2012). Są to wody tego samego poziomu wodonośnego, które występują w uszczelinowionym górotworze kredowo-paleogeńskim. Ujęcia wymienionych wód rozdzielone są doliną rzeki Bochotniczanka, prawobrzeżnego dopływu Bystrej. Ten sam poziom piezometryczny, ale różny chemizm wód w ujęciach pozostających w bliskim sąsiedztwie wynika z odmiennych stref ich zasilania. Chemizm, a w szczególności zawartość żelaza w wodach jest efektem różnic tła geochemicznego strefy aeracji w rejonach zasilania ujęć. Wody żelaziste napływają z rejonów o grubych (ponad 30 m) pokrywach osadów plejstocenijskich (lessy, piaski i żwiry oraz gliny zwałowe). Wody zwykłe napływają z rejonów występowania jedynie pokryw lessowych lub wychodni skał paleogeńskich i kredowych (Knyszyński 2000). W tym kontekście szczególnie ciekawie wyglądają wyniki pomiarów zawartości radonu w wodzie w ujęciach naturalnych źródeł (punkt pomiarowy C w tabeli 1).

Tabela 1. Radon w rejonie Uzdrowiska Nałęczów

Table 1. Radon in Heath Resort Naleczow

	Punkt pomiarowy	Stężenie radonu w powietrzu [Bq/m ³]	Zawartość radonu w wodzie [Bq/dcm ³]
A	ujęcie Żelaziste-Celińskiego	60	no
B	ujęcie Barbara	1250	no
C	ujęcie Miłość	2190	4,5

no – nie oznaczano

Rozpatrywane źródła dokumentują występowanie stref uszczelinowionego tektonicznie górotworu. Strefy te zapewniają zbliżone warunki filtracji wody (czas przepływu), w tym podobne warunki dla transportu radonu. Ujęcie Barbara (punkt B) jest otworem wiertniczym, który stwarza własny model migracji radonu, co na obecnym etapie badań nie

upoważnia do dokonywania porównań. Stężenie radonu w powietrzu nad zwierciadłem źródła żelazistego (punkt A) stanowi jedynie niecałe 3% stężenia radonu w powietrzu nad ujęciem wody zwykłej (punkt C). Zdecydowanie wyższe stężenia radonu w powietrzu nad poziomem naturalnych beżelazistych wód Uzdrowiska Nałęczów pozwalają doszukiwać się występowania radu i korzystniejszych warunków emanacji radonu raczej w skałach paleogeńsko-kredowych – w strefie aktywnej wymiany wód sięgającej maksymalnie do głębokości 120-150 m, niż w infiltrowanych przez wody opadowe osadach plejstocenijskich (Knyszyński 2000). Nie rozstrzygnięta, choć nie dająca się wykluczyć na tym etapie badań pozostaje kwestia współzależności pomiędzy zawartościami radonu i żelaza w wodzie, która może wynikać z hydrodynamiki lub hydrogeochemii. Z reguły występuje spadek zawartości radonu wraz ze wzrostem mineralizacji wody. Zawartość radonu w wodzie w źródle Miłość (Punkt C) na poziomie 4,5 Bq/dcm³ klasyfikuje ją jako ubogą w radon (Przylibski 2005). W rejonie doliny Bystrej wykonano pomiary stężenia radonu w powietrzu, w wodzie i w powietrzu glebowym wzdłuż jej strefy krawędziowej.

Tabela 2. Radon w rejonie doliny Bystrej**Table 2.** Radon in Bystra river valley

Punkt pomiarowy	Stężenie radonu w powietrzu [Bq/m ³]	Zawartość radonu w wodzie [Bq/dcm ³]	Stężenie radonu w powietrzu glebowym [Bq/m ³]
A Charz	110	no	
B Wyrobisko komorowe (grota)	3250-3820	no	13730
C Słowicza (1)	2987-4535	8,1-11,7	20260
D Słowicza (2)	59	no	no
E Nowy Gaj (1)	120	no	no
F Nowy Gaj (2)	190	no	no
G Nowy Gaj (3)	42	4,5	no
H Nowy Gaj (4)	70	no	no
I Nowy Gaj (5)	130	no	no

no – nie oznaczano

Anomalnie wysokie stężenia radonu udokumentowano w rejonie ostro zarysowanej, krawędziowej, prawobrzeżnej doliny Bystrej (tabela 2) oraz w obrębie górniczego wyrobiska komorowego i obiektów (piwnica, studnia) przy ulicy Słowiczej (1). Wyniki te szerzej omówiono w pracy Gazda i in. (2012).

W przeprowadzonym monitoringu radonowym pasywnymi detektorami śladowymi uzyskano wyniki stężeń radonu w zakresie od 42 do 4535 Bq/m³. Rezultaty uzyskane w niektórych piwnicach, studniach, jak i w wyrobisku górniczym znacznie przewyższają średnie stężenia radonu zmierzone w piwnicach w innych rejonach Lubelszczyzny (Kozak i in. 2012; Południk 2013). Górne ich wartości przewyższały anomalnie wysokie stężenia radonu (do 3000 Bq/m³) w powietrzu piwnic niektórych rejonów południowo-zachodniej Polski, które uznawane są za tereny znaczącego zagrożenia radonowego (Brunarski 1998).

Wyniki dotychczas przeprowadzonych pomiarów stężenia radonu w powietrzu należą do dwóch wyraźnie rozróżnialnych grup. Pierwsza zawiera stężenia w zakresie 42-190 Bq/m³, które uznano za poziom tła. W drugiej grupie stężenia radonu mają wartości powyżej 1130 Bq/m³ (maksymalnie do 14 110 Bq/m³) i te przyjęto za anomalnie podwyższone. Wodę w studni przy ul. Słowiczej (1) można już uznać za niskoradonową (Przylibski 2005). W wodzie samowypływu w Nowym Gaju (punkt G) zmierzono zawartość radonu w ilości 4,5 Bq/m³. Jest to woda bardzo silnie żelazista. Budowa geologiczna – rodzaj skał i układ warstw są bardzo zbliżone w prawobrzeżnej (punkty B-F) i lewobrzeżnej (punkty A oraz G-I) strefie krawędziowej Bystrej. Wyjątkiem jest punktu D, który lokalizowany jest w obrębie aluwów plejstoceniowych i holoceniowych głęboko wypełniających dolinę Bystrej. Od powierzchni do głębokości ok. 2-3 m są to pyły i gliny lessopodobne oraz piaski plejstoceniowe, a poniżej – do głębokości kilkudziesięciu metrów są to gezy paleogenu. Pomiary stężenia radonu w piwnicach i studniach wykonywane były praktycznie z poziomu skał paleogenu, analogicznie jak w komorze (grocie) poeksploatacyjnej. W takiej sytuacji źródło emanacji radonu, który rejestrowano we wszystkich punktach pomiarowych powinno się znajdować w górotworze paleogeńskim lub w leżących niżej skałach kredowych, a mierzone stężenie radonu jest tylko zależne od swobody jego transportu (ekshalacji). Transport ten jest ułatwiony w strefach spękanych i uszczelinionych stref tektonicznych. Strefowość uzyskanych

wyników w ogólnych zarysach odpowiada obrazowi tektonicznemu rozpatrywanego obszaru (Knyszyński 2000). W rejonie stwierdzonych anomalnych stężeń radonu (punkty B i C) przecinają się trzy kierunki nieciągłości i spękań tektonicznych.

Zależność poziomu stężeń radonu od tektoniki dobrze dokumentują pomiary wykonane w Kocianowie (Tabela 3), gdzie w kopalni piasku odsłonięte są struktury tektoniczne znajdujące odzwierciedlenie w obrazie tektonicznym regionu (Harasimiuk i in. 2007).

Tabela 3. Radon w rejonie rowu tektonicznego Kocianów

Table 3. Radon in rift fault Kocianow

	Punkt pomiarowy	Stężenie radonu w powietrzu [Bq/m ³]	Zawartość radonu w wodzie [Bq/dcm ³]
A	Piwnica w osi rowu	2460	no
B	Piwnica na skrzydle zawieszonym	1130	no

no – nie oznaczano

Stężenie radonu zmierzone w punkcie A zlokalizowanym w osi rowu tektonicznego było ponad dwukrotnie wyższe niż w punkcie B, który znajdował się na skrzydle poza strefą rozluźnień ułatwiających transport tego gazu.

Pomiary wykonane metodą aktywną w trybie FLOW (0,3 dcm³/min) w otwartych szczelinach skalnych dały wyniki w zakresie od 590 do 14 110 Bq/m³. Relatywnie duży rozrzut uzyskanych rezultatów może być efektem niestalej drożności uprzywilejowanych dróg (spękań, szczelin) migracji radonu oraz zmiennej dynamiki mieszania gazów środowiska gruntowego z powietrzem atmosferycznym.

4. Wnioski

Na obecnym etapie badań można powiązać strefy podwyższonych stężeń radonu ze strefami rozluźnień tektonicznych skał paleogenu. Miąższość paleogenu w okolicach Nałęczowa wynosi 30-70 m. Skały te są cienko- lub gruboławicowe z licznymi spękaniami ciosowymi i szczelinami. Ułożone są poziomo lub prawie poziomo. Spękania ciosowe są efektem tektoniki alpejskiej oraz neotektoniki plejstoceńskiej i holocen-

skiej. Skały paleogenu, wykształcone jako gezy z wkładkami twardych wapieni i miękkich margli, pozbawione są minerałów urano- i toronosnych, a także minerałów zawierających podwyższone ilości potasu (np. skaleni). Najbardziej prawdopodobnym źródłem radonu ^{222}Rn jest rad pochodzący z rozpadu uranu zawartego w piaskach glaukonitowych z fosforytami mastrychtu górnego. W rozpatrywanych okolicach Nałęczowa stanowią one strop granicy mezozoiku i kenozoiku (paleogenu). Granica ta jest stwierdzana w istniejących otworach studziennych. Między innymi jest udokumentowana w ujęciu wody „Nałęczowianka”. Transport radonu do poziomu terenu i piwnic obiektów budowlanych mobilizuje i kierkuje lokalna tektonika i spękania górotworu oraz przepływy wód w ich obrębie. Ciekawym zjawiskiem jest duża różnica poziomu ekshalacji źródeł żelazistych i wód normalnie zmineralizowanych, pozostających w podobnych warunkach hydrodynamicznych. Określenie współzależności pomiędzy zawartością jonów żelaza i zawartością radonu w wodzie wymaga dalszych szczegółowych badań, szczególnie, że problem ten nie był dotychczas rozpatrywany, pomimo udokumentowanego wpływu mineralizacji ogólnej na zawartość radonu w wodzie. Niemniej istotnym zagadnieniem jest stwierdzenie występowania stężeń radonu na poziomie przekraczającym uznane wartości dopuszczalne w obiektach stałego pobytu (Dyrektywa Europejska 2013/59/EUROATOM rekomenduje poziom referencyjny dla średniorocznego stężenia radonu w pomieszczeniach 300 Bq/m^3) Nałęczowa i okolic. Nie bez uzasadnionych racji jest także podjęcie powtórnie, po 100 latach badań nad możliwością balneologicznego wykorzystania radonu w Uzdrowisku Nałęczów, włączenia go do procedur (inhalacji) realizowanych tu kuracji.

Literatura

- Atlas radiologiczny Polski. (2012). Biblioteka Monitoringu Środowiska. Warszawa.
- Bilska, I., Południk, B., Dudzińska, M.R. (2012). *Parametry powietrza wewnętrznego, a stężenie radonu w klimatyzowanym pomieszczeniu dydaktycznym*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska PAN, 99, 79-88.
- Brunarski, L. (1998). *Metody i warunki wykonywania pomiarów stężenia radonu w powietrzu w pomieszczeniach budynków przeznaczonych na stały pobyt ludzi*. Warszawa: Instytut Techniki Budowlanej.

- Dybkowski, K. i Zawisłak, J. (2012). Wody żelaziste i zwykłe na terenie Uzdrowiska Nałęczów. *Inżynieria ekologiczna*, 30, 48-59.
- Gazda, L. i Gazda, B. (2005). *Górnictwo skalne Nałęczowa*. Materiały konferencyjne, Historia i współczesność górnictwa na terenie Lubelszczyzny. Kazimierz Dolny, 37-43.
- Gazda, L., Kozak, K., Polednik, B. (2012). *Morphogenesis of lublinitite in indoor environment*. Healthy Building Conference, Brisbane, Australia, 8D.9.
- Gazda, L. i Szydeł, R. (2002). *O potrzebie zmian metodyki poszukiwania złóż kruszyw naturalnych na Wyżynie Lubelskiej*. Aktualia i Perspektywy Gospodarki Surowcami Mineralnymi. PAN IGSMiE nr 56.
- Harasimiuk, M., Huber, M., Kołodyńska-Gawrysiuk, R., Warowna, J., Jezierski, W., Gajek, G. (2007). *Tektoniczny rów wypełniony osadami plejstoceńskimi w Kocianowie*. In. red. M. Harasimiuk i in. Budowa geologiczna regionu lubelskiego i problemy ochrony litosfery, 235-244.
- Knyszyński, F. (2000). *Mapa Hydrogeologiczna Polski w skali 1:50000*, arkusz Nałęczów wraz z objaśnieniami. Warszawa: MŚ.
- Komosa, A. (2005). *Badania stężeń radonu w okolicach Lublina, doświadczenia Zakładu Radiochemii w tej dziedzinie*. Materiały konferencyjne: II Ogólnopolska Konferencja Radon w środowisku. Kraków, 12-13.
- Kozak, K., Dudzińska, M.R., Mazur, J., Polednik, B., Grządziel, D. (2012). *Radon exposures in premises in the Lublin region, eastern Poland*. Healthy Building Conference, Brisbane, Australia, 2B.10.
- Orgelbrand, S. (1909). *Rezultat badań źródeł nałęczowskich w kierunku radio czynności*. In. red. Z. Kożuchowski. 1925. Z dziejów dawnego i współczesnego Nałęczowa, 96-97.
- Przylibski, T.A. (2005). *Wody radonowe Sudetów: Przyrodnicze, radiologiczne oraz balneologiczne i górnicze aspekty ich występowania*. In. Materiały konferencyjne: II Ogólnopolska Konferencja Radon w środowisku, Kraków, 48-49.
- Polednik, B. (2013). *Zanieczyszczenia a jakość powietrza wewnętrznego w wybranych pomieszczeniach*. Monografie Komitetu Inżynierii Środowiska, Lublin: PAN, 116.
- Polednik, B., Dudzińska, M.R., Kozak, K., Mazur, J., Gazda, L. (2012). *The impact of the indoor air parameters on the dynamics of radon and its decay products concentration changes*. Healthy Building Conference, Brisbane, Australia, 2B.8.

Zone-Related Variability of Radon Exhalations in Nałęczów Region

Abstract

The studies on the radioactivity of waters in health resorts around the world have been conducted for over a hundred years. At first, they were strictly connected with the use of radioactive radon ^{222}Rn for the purpose of treating patients. In Health Resort Nałęczów, the first studies on the content of radon in water were carried out in 1909. Encouraged by promising results, an attempt was made to expand the treatment possibilities/potential of this resort. Balneological treatment procedures were devised; however, they were not implemented in practice. In the following years, no research on the radioactivity of waters in Nałęczów was conducted. In 2005, pilot measurements of radon exhalations were carried out in the vicinity of Lublin. Their results showed no significant concentrations of radon in the air.

The paper presents the results of radon studies performed in the years 2009-2011 in the water intake area of the resort and its proximity. The measurements of radon exhalations and its content in water were conducted. The former were carried out using the CR-39 passive dosimeters at the underground level, above the aquifer. Measurements of radon concentrations in soil air and water were performed in selected locations. In the areas in which abnormally high radon exhalations were detected, additional measurements were made using active methods by means of an Alpha GUARD PQ 2000 PRO meter. The performed studies enabled to determine the background exhalation values as $42\text{-}190\text{ Bq/m}^3$. According to the contemporary knowledge, these values correspond to the concentrations detected in other regions of Lubelskie Voivodeship and the strip of Polish low- and highlands. In the water intake area of the resort, as well as selected parts of Bystra river valley and the Kocianow rift fault, the radon concentrations of $1130\text{-}4535\text{ Bq/m}^3$ were detected. Such high concentrations should be considered abnormally high, and have not been previously noted in the Lubelskie Voivodeship. These concentrations are comparable to the ones in Sudety mountains and certain parts of Carpathian Mountains. Radon exhalations in the underground mining excavation measured with active method in open crevices and cracks of paleogene rocks reached the value as high as 14110 Bq/m^3 . Locally, water in the zones of elevated radon exhalation levels (except for the resort) can be considered as radon-poor. Zone-related variability of radon exhalations connected with the local tectonic, lithological, and hydrogeochemical conditions of rock mass in this part of Lublin Upland, was determined in the paper. Most probably, the source of radon constitutes glauconite layers with phosphorites from the borderline of Cretaceous and

Paleogene. The transportation of radon to the ground level and building cellars is induced and directed by the local tectonics, cracks in rock mass and the flow of water within. Significant difference in the ^{222}Rn -saturation level of iron springs and normally-mineralized waters in similar hydrodynamic conditions, is an interesting phenomenon. Determining a possible influence of ferric ions on the emanation coefficient requires further research, especially as this issue has not been previously investigated. Another important problem is the detection of radon concentrations (over 200 Bq/m^3) in the existing and designed objects in Nałęczów and its vicinity. Repeating the research on the prospective balneological use of radon in Health Resort Nałęczów – which was conducted a hundred years ago – seems justified as well.

Słowa kluczowe:

radon, ekshalacje radonowe, rów tektoniczny, uzdrowisko

Keywords:

Radon, radon exhalations, rift fault, resort